

**Heat pulse flowmeter for gases and liquids for measuring transit time of heat pulse**

**Patent number:** DE4427554  
**Publication date:** 1996-02-22  
**Inventor:** VOIGT KURT DR (DE); KELLER WOLFGANG DR (DE); SEIDEL DIETER DR (DE)  
**Applicant:** KARLSRUHE FORSCHZENT (DE)  
**Classification:**  
- **international:** G01F1/712; G01F1/69  
- **european:** G01F1/708B  
**Application number:** DE19944427554 19940804  
**Priority number(s):** DE19944427554 19940804

**Abstract of DE4427554**

The heating resistance (2) measuring the transit time (12) of the thermometer probe (3), the thermometer probe for measuring the media temp., and the conductor paths (5) required for connecting these elements with the electronic system are supplied as a layer circuit. The layer circuit is applied on a substrate (1) as a circuit carrier having a small heat conductivity. An intermediate circuit with low heat conductivity is fitted as additional thermal insulation. The heating resistance (2), the thermometer probes (3, 4) and the conductor tracks (5) are provided with a thin, good heat conductivity and chemically resistive cover layer. This cover layer prevents the direct contact of operating elements (2, 3, 4) with the measurement media or the ambient atmosphere, to prevent corrosion on the operating elements. The substrate (1) is interrupted by windows (6), in the flow direction before the probe (3) which acts as a heat pulse receiver (3). A preamplifier (7) of the measurement signal evaluation electric circuit is accommodated in a recess of the substrate (1). The durations of the heating pulses through the resistance (2) in the measurement medium to the receivers (3) are small compared to the heat transport times in the substrate (1).

**BEST AVAILABLE COPY**



DEUTSCHES  
PATENTAMT

②1 Aktenzeichen: P 44 27 554.4  
②2 Anmeldetag: 4. 8. 94  
④3 Offenlegungstag: 22. 2. 96

DE 44 27 554 A 1

⑦1 Anmelder:  
Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, 76133  
Karlsruhe, DE

⑦2 Erfinder:  
Keller, Wolfgang, Dr., 76707 Hambrücken, DE;  
Seidel, Dieter, Dr., 76344 Eggenstein-Leopoldshafen,  
DE; Voigt, Kurt, Dr., 09126 Chemnitz, DE

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Wärmeimpuls-Durchflußmesser

⑤7 Die Erfindung betrifft einen Wärmeimpuls-Durchflußmesser. Der Durchflußmesser ist im Prinzip eine überströmte Platte, die sich im durchströmten Strömungsraum befindet. Auf dem Substrat sind in Dickschichttechnik die Funktionselemente aufgebracht. Sie bestehen aus dem Wärmeimpulssender in Form eines Heizwiderstandes, den beiden Wärmeimpulsempfängern und dem Temperaturmeßfühler. Der Wärmeimpulssender wird durch einen oder mehrere definierte Stromimpulse in vorgegebenen zeitlichen Abständen aufgeheizt und gibt entsprechende Wärmeimpulse an das vorbeiströmende Meßmedium ab. Die Wärmeimpulse werden durch das Meßmedium zu den Wärmeimpulsempfängern transportiert, die in einem definierten Abstand hintereinander angeordnet sind und zwei zeitlich zueinander versetzte Meßsignale abgeben. Die Meßsignale werden in einer Elektronik aufbereitet und in einem Mikroprozessor einer Kreuzkorrelation unterworfen, woraus dann schließlich zuverlässig die Strömungsgeschwindigkeit angegeben werden kann.

DE 44 27 554 A 1

Die Erfindung betrifft einen Wärmeimpuls-Durchflußmesser für Gase und Flüssigkeiten, bei dem als Meßeffect die Laufzeit eines dem Meßmedium aufgeprägten, kurzen Wärmeimpulses über eine vorgegebene Wegstrecke ausgenutzt wird.

Das Grundprinzip dieses Meßverfahrens ist bekannt und wird z. B. in der DE 37 41 896 A1 angewendet. Dieses Gerät besitzt diskrete Sender- und Empfängerstrukturen in Form von dünnen Drähten, die in direktem Kontakt mit dem Meßmedium stehen. Aufgrund der mechanischen Empfindlichkeit ist dieses Gerät nur im Laborbetrieb einsetzbar und erfordert einen erheblichen Fertigungsaufwand.

Bei einer anderen Anordnung, die in der DE 41 27 675 A1 beschrieben wird, sind Wärmeimpulssender und -empfänger an der Außenseite einer Schlauchleitung angebracht, wodurch die Einkopplung des Wärmeimpulses in das Meßmedium erschwert wird. Das Gerät ist als Strömungswächter für Flüssigkeiten vorgesehen.

Eine weitere Anordnung, die in der Europäischen Patentanmeldung 0 500 011 A1 beschrieben ist, verzichtet auf den Wärmeimpulssender und erfaßt die thermischen Eigenschwankungen des Meßmediums mit hochempfindlichen Thermoelementen. Die Meßsignale der Thermoelemente werden miteinander korreliert und daraus die örtliche Fließgeschwindigkeit berechnet. Die Realisierung dieser Meßmethode zur Durchflußmessung ist mit sehr hohem Aufwand verbunden.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein für den industriellen Einsatz geeignetes, kompaktes und robustes, jedoch auch bei kleinen Durchsätzen hinreichend genau arbeitendes Durchflußmeßgerät bereitzustellen. Mit diesem Gerät sollen sowohl flüssige als auch gasförmige Medien gemessen werden, ohne daß ein allzu hoher Aufwand an medienspezifischen Kalibrierungen betrieben werden muß.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein Wärmeimpuls-Durchflußmeßgerät mit den kennzeichnenden Merkmalen des Anspruchs 1 grundsätzlich gelöst.

Die untergeordneten Ansprüche 2 und 3 kennzeichnen den Substratwerkstoff und die Technik, in der die Funktionselemente des Sensorteiles des Durchflußmessers realisiert werden.

Anspruch 4 kennzeichnet die zweckmäßige Anordnung der Funktionselemente auf dem Substrat.

Anspruch 5 schließlich kennzeichnet den Blockaufbau der Elektronik zur Aufbereitung der Meßsignale.

Anspruch 6 beinhaltet eine Erweiterung der Meßaufgabe, die mit den in Anspruch 1 aufgeführten Funktionselementen und der in Anspruch 5 beschriebenen Meßsignal-Auswerteelektronik ohne wesentlichen Mehraufwand geleistet werden kann.

Weiterhin kennzeichnet der Anspruch 6 das Verfahren zur Auswertung der von den Wärmeimpulsempfängern (3) gelieferten Signale durch Kreuzkorrelation, welche auch bei stark gestörten Meßsignalen eine zuverlässige Ermittlung der Laufzeit des Wärmeimpulses ermöglicht. Schließlich kennzeichnet Anspruch 6 die Vorgehensweise bei der Umrechnung der gemessenen Impulslaufzeit in den Volumendurchfluß sowie die Korrektur von strömungstechnischen Einflüssen des zu messenden Mediums.

Testmuster dieses Durchflußmessers wurden gefertigt und Funktionstests in einem flüssigen und in einem gasförmigen Meßmedium unterzogen.

Es zeigt:

Fig. 1 den schematischen Aufbau des Sensorteiles des Durchflußmessers,

Fig. 2 das Ergebnis eines Funktionstests mit Öl,

Fig. 3 das Ergebnis eines Funktionstests mit Stickstoff.

Der schematische Aufbau des vom Meßmedium umströmten Sensorteiles des Wärmeimpuls-Durchflußmessers ist in Fig. 1 dargestellt. Der Sensor besteht aus einem plattenförmigen Substrat 1 aus einer Keramik mit geringer Wärmeleitfähigkeit, auf dem in Dickschichttechnik die Funktionselemente: Heizwiderstand 2, Wärmeimpulsempfänger 3 und Temperaturmeßfühler 4 aufgebracht sind. Zur zusätzlichen thermischen Isolation der Funktionselemente 2, 3, 4 zum Substrat 1 hindient eine Zwischenschicht mit geringer Wärmeleitung. Zum Schutz der Funktionselemente 2, 3, 4 sowie der für die Verbindung der Funktionselemente 2, 3, 4 mit der Elektronik erforderlichen Leiterbahnen 5 gegen einen möglichen Korrosionsangriff durch das Meßmedium bzw. durch die umgebende Atmosphäre dient eine dünne, gut wärmeleitende Deckschicht. Zwischenschicht und Deckschicht werden ebenfalls in Dickschichttechnik hergestellt.

Das strömungstechnische Grundelement dieses Sensors ist eine überströmte Platte, welche sich in dem vom Meßmedium durchströmten Strömungsraum befindet und auf der die Funktionselemente 2, 3, 4 aufgebracht sind.

Der Wärmeimpulssender ist der Heizwiderstand 2, der durch einen oder mehrere definierte Stromimpulse 9 in vorgegebenen zeitlichen Abständen aufgeheizt wird und entsprechende Wärmeimpulse an das vorbeiströmende Meßmedium überträgt.

Diese Wärmeimpulse werden durch das Meßmedium zu den Wärmeimpulsempfängern 3 transportiert, die in einem definierten Abstand hintereinander angeordnet sind und zwei zeitlich zueinander versetzte Meßsignale 10 abgeben.

Um an den beiden Wärmeimpulsempfängern 3 möglichst schmale und hohe Wärmeimpulse zu erzeugen, wird die Ausbildung einer hydraulischen, bzw. thermischen Grenzschicht durch eine Unterbrechung des Substrats 1 in Form von Fenstern 6 gestört. Die Grenzschicht beginnt sich erst hinter der Substratkante im Bereich des Wärmeimpulsempfängers 3 zu bilden, was im Vergleich mit einer nicht unterbrochenen Platte einen deutlich besseren Wärmeübergang vom Fluid zu den Wärmeimpulsempfängern 3 bewirkt.

Die Meßsignale der Wärmeimpulsempfänger 3 werden in den nachgeschalteten Vorverstärkern 7 verstärkt und dann der Meßsignal-Auswerteelektronik zugeführt. Um Störeinflüsse auf die Meßsignale so klein wie möglich zu halten, sind die Vorverstärker 7 in unmittelbarer Nähe der Wärmeimpulsempfänger 3 auf dem gemeinsamen Substrat 1 außerhalb des Strömungsraums 8 untergebracht.

Durch eine geeignete Meßelektronik, bestehend aus Verstärkern, Filtern, Analog-Digital-Wandlern und Mikroprozessor wird die Impulslaufzeit zwischen den Wärmeimpulsempfängern 3 ermittelt und auf die Strömungsgeschwindigkeit bzw. den Volumendurchfluß umgerechnet.

Durch die kontinuierliche Messung der Medientemperatur mit dem Temperaturmeßfühler 4 kann der Einfluß der Temperatur auf das Durchflußmeßergebnis korrigiert und der Wärmestrom im Meßmedium direkt erfaßt werden.

Fig. 2 und 3 zeigen zwei typische Versuchsergebnisse, die mit dem Sensor für Öl und Stickstoff als Meßmedium erhalten wurden. Aufgetragen über der Zeit ist der zeitliche Verlauf des Stromimpulses 9 am Heizwiderstand 2 und die zeitlichen Verläufe der Meßsignale 10 der beiden Wärmeimpulsempfänger 3. Mit einem anstelle des Mikroprozessors angeschlossenen Rechner wurde die Kreuzkorrelationsfunktion 11 der verstärkten, gefilterten und digitalisierten Ausgangssignale der Wärmeimpulsempfänger 3 berechnet.

Die Kreuzkorrelationsfunktion zweier Signale stellt ein Maß für den statistischen Zusammenhang dieser Signale dar. Für die größte erreichbare Ähnlichkeit der beiden Signale beim Verschieben der Signale auf der Zeitachse besitzt die Kreuzkorrelationsfunktion ein Maximum. Entscheidend für die zeitliche Lage des Maximums der Kreuzkorrelationsfunktion ist also nicht die Signalamplitude, sondern die Ähnlichkeit der korrelierten Signale. Beim Wärmeimpuls-Durchflußmesser wird das Maximum der Kreuzkorrelationsfunktion bei einer Verschiebung der Signalkurven um den Betrag der Laufzeit des Wärmeimpulses erreicht.

In Fig. 3 wird der Vorteil des benutzten Kreuzkorrelationsverfahrens besonders deutlich. Physikalisch bedingt, weisen die von den Wärmeimpulsempfängern 3 gelieferten Signale bei der Messung von Gasen, in diesem Fall Stickstoff, ein nur sehr kleines Signal/Rauschverhältnis auf. Stochastische Störsignale bewirken zwar eine Vergrößerung der Breite des Korrelationsmaximums, aber die für die Ermittlung der Wärmeimpuls-laufzeit entscheidende Lage des Maximums der Kreuzkorrelationsfunktion wird dadurch nicht verändert.

#### Bezugszeichenliste

- 1 Substrat
- 2 Heizwiderstand, Wärmeimpulssender
- 3 Temperaturmeßfühler, Wärmeimpulsempfänger
- 4 Temperaturmeßfühler für Medientemperatur
- 5 Leiterbahn
- 6 Fenster
- 7 Vorverstärker
- 8 Strömungsraum
- 9 zeitlicher Verlauf des Stromimpulses im Heizwiderstand
- 10 zeitlicher Verlauf der Temperatur an den Wärmeimpulsempfängern
- 11 Kreuzkorrelationsfunktion
- 12 Laufzeit des Wärmeimpulses

#### Patentansprüche

1. Wärmeimpuls-Durchflußmesser für Gase und Flüssigkeiten, der als Meßeffect die Laufzeit eines dem Meßmedium aufgeprägten Wärmeimpulses längs einer definierten Wegstrecke mißt, bestehend aus:

- a) einem elektrischen Heizwiderstand (2), der als Wärmeimpulssender (2) wirkt,
- b) mindestens zwei in Strömungsrichtung in einem vorgegebenen Abstand hintereinander angeordneten Temperaturmeßfühlern (3), die als Wärmeimpulsempfänger (3) wirken,
- c) strömungstechnischen Elementen zur Verbesserung des Wärmeübergangs an den Temperaturmeßfühlern,
- d) einem Temperaturmeßfühler (4) zur Erfassung der Medientemperatur sowie

e) einer Stromimpuls- und Meßsignalauswerte-Elektronik, dadurch gekennzeichnet, daß f) der Heizwiderstand (2), die zur Messung der Laufzeit (12) des Wärmeimpulses dienenden Temperaturmeßfühler (3), der Temperaturmeßfühler (4) zur Messung der Medientemperatur und die für die Verbindung dieser Bauelemente mit der Elektronik erforderlichen Leiterbahnen (5) als Schichtschaltung auf einem plattenförmigen Substrat (1) als Schaltungsträger aufgebracht sind,

g) die Schichtschaltung in Dickschichttechnik, durch Aufspütern, Aufdampfen oder andere Schichtabscheideverfahren hergestellt wird,

h) das Substrat (1) aus einem Werkstoff mit einer kleinen Wärmeleitfähigkeit besteht,

i) zwischen Substrat (1) einerseits und dem Heizwiderstand (2), den Temperaturmeßfühlern (3), dem Temperaturmeßfühler (4) und den Leiterbahnen (5) andererseits eine Zwischenschicht mit niedriger Wärmeleitfähigkeit als zusätzliche thermische Isolierung aufgebracht ist,

j) Heizwiderstand (2), Temperaturmeßfühler (3), Temperaturmeßfühler (4) und die Leiterbahnen (5) mit einer dünnen, gut wärmeleitenden und chemisch widerstandsfähigen Deckschicht versehen sind, die den direkten Kontakt der Funktionselemente (2, 3, 4) mit dem Meßmedium oder mit der umgebenden Atmosphäre und somit einen möglichen Korrosionsangriff auf die Funktionselemente verhindert, k) in Strömungsrichtung vor den Temperaturmeßfühlern (3), welche als Wärmeimpulsempfänger (3) dienen, das Substrat (1) durch Fenster (6) unterbrochen ist,

l) das Substrat (1) durch eine Aussparung in der den Strömungsraum (8) begrenzenden Wand sich nach außen fortsetzt und in diesem Bereich des Substrats (1) die Vorverstärker (7) der Meßsignalauswerte-Elektronik untergebracht sind,

m) die Dauer der Wärmeimpulse, die durch die Fließgeschwindigkeit des Meßmediums bedingte Laufzeit (12) der Wärmeimpulse und die Ausgleichzeiten beim Wärmeübergang vom Heizwiderstand (2) in das Meßmedium und vom Meßmedium zu den Wärmeimpulsempfängern (3) klein sind gegenüber den Wärmetransportzeiten im Substrat (1).

2. Wärmeimpuls-Durchflußmesser nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Substrat (1) aus Keramik oder Glas oder Glaskeramik ist.

3. Wärmeimpuls-Durchflußmesser nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß das Substrat (1) aus Aluminiumoxid-Keramik ist und die Schichtschaltung mittels Siebdruckverfahren in Dickschichttechnik hergestellt ist.

4. Wärmeimpuls-Durchflußmesser nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß der Temperaturmeßfühler (4) zum Messen der Medientemperatur in Strömungsrichtung hinter den Wärmeimpulsempfängern (3) angeordnet ist, so daß die durch den Heizwiderstand (2) erzeugten Wärmeimpulse die Messung der Medientemperatur durch den Temperaturmeßfühler (4) nicht oder allenfalls vernachlässigbar beeinflussen.

5. Wärmeimpuls-Durchflußmesser nach Anspruch

4, dadurch gekennzeichnet, daß die Stromimpuls- und Meßsignalauswerte-Elektronik aus einem Stromimpulsgenerator, einem Verstärker und Filter für jeden Wärmeimpulsempfänger (3), sowie aus einem Multiplexer, einem Analog-Digital- 5 Wandler und einem Mikroprozessor zur Auswertung der Meßsignale, zur Steuerung des Meßvorganges sowie zum Datentransfer besteht.

6. Verfahren zur Ermittlung des Durchflusses mit dem Wärmeimpuls-Durchflußmesser nach An- 10 spruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß gleichzeitig der Durchfluß des Mediums, die Medientemperatur und die Wärmeenergie gemessen wird, ein Wechsel in der Zusammensetzung des Mediums oder ein 15 Phasenwechsel von flüssig aufgasförmig oder umgekehrt detektiert wird, die von den Wärmeimpuls-Empfängern (3) erhaltenen Meßsignale in der Meßsignal-Auswerteelektronik zu digitalisierten Signalen aufbereitet und im Mikroprozessor einer 20 Kreuzkorrelation unterzogen werden, woraus die Laufzeit (12) der Wärmeimpulse ermittelt und mit Hilfe von gespeicherten Korrekturfaktoren und der mit dem Temperaturmeßfühler (4) gemessenen Medientemperatur eine Umrechnung in den äqui- 25 valenten Volumendurchfluß vorgenommen wird,

---

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

---

30

35

40

45

50

55

60

65

Fig. 1



